

УДК 004.023

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕПРЯМОГО КОДИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПОИСКА СТРУКТУРЫ ГРАФА

Логойда Р.В. (Университет ИТМО), Ямщикова Л.А. (Университет ИТМО),

Латыпов В.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н., Никитин Н.О.  
(Университет ИТМО)

**Введение.** Поиск ориентированных ациклических графов часто возникает в графовой оптимизации, когда нужно построить стратифицированную структуру связей между объектами, например: поиск архитектуры нейронной сети, обнаружение причинно-следственных связей или построение связей в байесовских сетях. Использование эволюционного поиска как представителя метаэвристических алгоритмов в таких задачах обусловлено суперэкспоненциальной сложностью. Основные трудности возникают при поиске структур больших графов, в таком случае поиск деградирует и скорость сходимости к приемлемому решению падает. Пересмотр пространства поиска в оптимизационных задачах является актуальной темой, так как новое представление может сделать отдельные геномы более выразительными для эволюционного поиска, а также сузить пространство поиска [4].

**Основная часть.** Для улучшения качества поиска было создано немало подходов, таких как: пересмотр генетических операторов, адаптивная подстройка гиперпараметров, использование обучения с подкреплением, использование информации о ландшафте целевой функции. Однако было показано, что пересмотр способа задачи пространства поиска может куда эффективнее себя показать нежели способы пересмотра техник поиска. Перспективными направлениями отмечают использование непрямого кодирования, а также использование фиксированного пространства, созданного с использованием глубоких нейронных сетей [4].

За основу сравнения была рассмотрена векторизованная матрица смежности. В случае ориентированных ациклических графов рассматривается только верхняя треугольная матрица. Реализован оригинальный генетический алгоритм [2] с использованием точечной мутации и одноточечным скрещиванием.

Среди примеров непрямого кодирования можно привести такие подходы как: путевое кодирование, кодировка NEAT, клеточное кодирование. Для сравнения был использован последний перечисленный подход, так как он позволяет заложить ограничения задачи в саму кодировку, а также обладает гибкостью по отношению к задаче. За основу была взята оригинальная реализация [1], однако и в недавних работах поиска структур графов есть её применение [3]. Был проведен анализ того, как влияет набор операторов трансформаций и порядок их применения на пространство поиска. Предложено более 20 новых вариантов трансформации, а также способ их отбора для повышения компактности пространства поиска. Показано различие эффективности реализованных подходов при поиске больших графов.

**Выводы.** Проведено сравнение подходов прямого и непрямого кодирования на примере клеточного кодирования. Реализован и модифицирован оригинальный подход клеточного кодирования, предложен набор операторов и способ их отбора для задачи поиска структуры ориентированных ациклических графов. Показано, что использование непрямого кодирования позволяет эффективно решать задачу даже в рамках классической реализации эволюционного поиска путём смещения фокуса с поиска на конфигурирование пространства, в котором он осуществляется.

### Список использованных источников:

1. Gruau F. Neural Network Synthesis Using Cellular Encoding And The Genetic Algorithm // Universe de Lyon – 1994. – С. 151.

2. Holland J. *Adaptation in Natural and Artificial Systems* // University of Michigan Press – 1992. – C. 232.
3. Londt T., Gao T., Andreae P., Mei Y. *XC-NAS: A New Cellular Encoding Approach for Neural Architecture Search of Multi-path Convolutional Neural Networks* // Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence – 2023. – C. 416-428.
4. Meyerson E., Qiu X., Miikkulainen R. *Simple Genetic Operators are Universal Approximators of Probability Distributions (and other Advantages of Expressive Encodings)* // Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference – 2022. – C. 739-748.